

氏 名	山崎 勝也
学 位 の 種 類	博士 (理学)
学 位 記 番 号	第 6116 号
授 与 報 告 番 号	甲第 3436 号
学位授与年月日	平成 27 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当者
学 位 論 文 名	Search for Ultra High Energy Photons with the Hybrid Detector of the Telescope Array Experiment (テレスコープアレイ実験ハイブリッド検出器による極高エネルギーガンマ線探索)
論文審査委員	主査 教 授 林 嘉夫 副査 教 授 清矢 良浩 副査 准教授 荻尾 彰一

論 文 内 容 の 要 旨

10^{18} eV 以上のエネルギーをもつ極高エネルギー宇宙線の研究はここ最近大きな進展があった。しかし、その起源は未解明で、解決すべき大きな課題である。現在極高エネルギー宇宙線を観測している主な実験は北半球最大のテレスコープアレイ (TA) 実験と南半球最大の Pierre Auger Observatory の二つである。二つの実験はエネルギースペクトルをはじめとする研究成果をそれぞれ発表しているが、一次宇宙線化学組成に関する解釈が異なっており、極高エネルギー宇宙線起源の理解を難しくしている。

極高エネルギーガンマ線観測はこの問題を克服し起源を理解するために有効な方法である。未知の超重粒子崩壊を宇宙線起源とするモデルは、爆発的天体現象による加速モデルよりも高いガンマ線到来頻度を予言するため、この種類のモデルを検証するには特に有効である。

本論文では極高エネルギー宇宙線起源の理解を目的として、TA 実験の地表検出器と大気蛍光望遠鏡の両方で同時観測されたハイブリッド観測事象を使用した極高エネルギーガンマ線探索の方法と結果を発表する。ハイブリッド観測から得られる空気シャワーの最大発達深さを使って一次ガンマ線事象候補を探索して得られた候補事象数は、一次陽子から偶然得られる確率と無矛盾であった。この結果から 2×10^{18} eV 以上の全空気シャワー事象の内、一次ガンマ線が占める割合が北天では 9.4% 以下であることを 95% 確度で示した。この上限値はハイブリッド観測事象を用いて求められた北天で初めての結果である。これらの成果により、系統誤差を正しく考慮してハイブリッド観測事象から一次ガンマ線事象を探索する手法を確立した。また、理論モデルから予言される一次ガンマ線の割合と上限値を比較すると、本論文中で比較対象としたモデルは示した上限値より低い割合であったが、TA 実験地表検出器の結果と合わせると TA 実験の一次ガンマ線割合上限値は Z-Burst モデルを除く Super Heavy Dark Matter モデル、Topological Defect モデルを 95% 確度で制限した。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

我々の地球には、宇宙空間を飛び交う高エネルギーの粒子、宇宙線、が降り注いでおり、大気を形成する様々な分子と衝突してエネルギーを失う過程で、多数の粒子をシャワー状に生成することが知られている。この過程そのものの詳細は、大気分子の励起に起因する微弱な光、大気蛍光、の観測や、電荷をもつシャワー粒子を地表の荷電粒子検出器でとらえることで明らかにすることができる。しかしながら、宇宙線研究、あるいは宇宙物理学の 1 世紀を越える長年の最大の謎は、「極限的高エネルギー宇宙線」の起源である。

本論文の主題は、米国ユタ州で遂行されているテレスコープアレイ国際協力実験における、北半球での大気蛍光望遠鏡と地表検出器の同時観測、ハイブリッド観測、によるデータをもとに、 10^{18} eV 以上の極高エネルギーガンマ線を探索することである。宇宙物理学における未解明の重要課題である「極限的高エネルギー宇宙線」の起源について、様々なモデルが提案されている中で、初期宇宙で生成された超重ダークマター粒子や位相欠陥の崩壊・対消滅にその起源を求める「トップダウンモデル」では、宇宙線中に高い割合でガンマ線が含まれることが予想されており、「極限的高エネルギー宇宙線」に占めるガンマ線の割合を測定することは、極めて重要である。

山崎勝也氏は、この「トップダウンモデル」の検証を視野に、米国ユタ州で遂行されているテレスコープアレイ実験のハイブリッド観測データをもとに、 10^{18} eV 以上の極高エネルギーガンマ線を探索した。自ら装置の運用、較正に携わりながら、ハイブリッド観測によって得られた事象の解析法、ガンマ線事象判別法の開発・確立と、その精度、判別効率の詳細なモンテカルロ計算に基づく評価は山崎氏による特筆すべき貢献である。2008 年から 5 年間にわたる観測によって得られた事象から極高エネルギーガンマ線

を探索し、観測事象に極高エネルギーガンマ線が含まれないとする仮定と無矛盾であると結論した。この事実から、観測可能なエネルギー範囲の全粒子数に占める極高エネルギーガンマ線の割合の上限値を得た。これはハイブリッド観測によるものとしては、北半球で初の成果である。この上限値によって極高エネルギー宇宙線を超重粒子起源とするトップダウンモデルを 10^{19}eV 以上のエネルギー領域については棄却した。

これらの研究成果の当該研究領域の進展に対する貢献は大きく、博士課程の研究として高く評価されるものである。よって、本論文は博士（理学）の学位を授与するに値すると審査した。